



**Prof. dr hab.  
Michał Kowal**

jest kierownikiem  
Zakładu Fizyki  
Teoretycznej NCBJ.  
Zajmuje się badaniem  
najcięższych jąder  
atomowych, w tym  
analizą ich stabilności,  
prawdopodobieństw  
wytworzenia,  
wyznaczaniem  
podstawowych ich  
własności, a także  
stanami izomerycznymi.  
[michal.kowal@ncbj.gov.pl](mailto:michal.kowal@ncbj.gov.pl)

# MIEĆ OKO NA PIERWIASTKI

PROF. DR HAB. MICHAŁ KOWAŁ



**O** trudnościach w teorii, stanach wzbudzonych i długo żyjących oraz strukturze jąder ciężkich mówi **prof. dr hab. Michał Kowal** z Narodowego Centrum Badań Jądrowych.

### ACADEMIA: Co to są pierwiastki chemiczne i ile ich mamy?

MICHAŁ KOWAŁ: Obecnie znamy 118 pierwiastków chemicznych. Najcięższe z nich zostały wytworzone w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej w Rosji. Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej (ang. IUPAC) przyznała im niedawno nazwy. Najcięższy z nich, o 118 protonach, nazwano oganesson; to drugi przypadek w historii fizyki i chemii, kiedy to nazwę pierwiastka nadano na cześć człowieka jeszcze żyjącego – w tym przypadku akademika Yuriego Oganessiana. Przewiduje się, że ów oganesson (Og) będzie leżał w 18. grupie układu okresowego, czyli w tak zwanej grupie gazów szlachetnych, tej samej, do której przynależą: hel, neon, argon, krypton, ksenon czy radon. Ale to będzie wymagać jeszcze potwierdzenia.

Definicja pierwiastka opiera się na liczbie protonów w jądrze atomu. Ale jądra zawierają również neutrony i w zależności od liczby tych neutronów w jądrze ten sam pierwiastek może mieć różne izotopy. Wszystkich izotopów znamy dziś około 3000. Jednak tylko sto kilkanaście z nich to izotopy stabilne, czyli takie, które w naturze istnieją – „żyją” bardzo długo. Pierwiastki najcięższe żyją zwykle zaledwie milisekundy. To wystarcza tylko na tyle, żeby je w detektorze przez chwilę uchwycić i na podstawie pośredniej analizy oszacować czas życia. Z tego też powodu nie umiemy jeszcze robić badań chemicznych tych superciężkich izotopów. Najcięższy pierwiastek, który jest zbadany chemicznie (jeśli tego rodzaju badania można w ogóle tak określić!), to  $Z = 112$ , który dzięki odkrywcy Sigurdowi Hofmannowi nosi nazwę Kopernik (w układzie kresowym symbol Cn – Copernicium). Od niedawna można więc powiedzieć, że wreszcie uzupełniono układ okresowy pierwiastków.

### Czyli tablicę Mendelejewa, w której zgrupowane są pierwiastki według periodycznie powtarzających się podobieństw i właściwości?

Tak! Wolne miejsca, o których dzieci do tej pory uczą się w szkołach, zostały wypełnione. Otwarte pozostaje pytanie, czy da się zsyntetyzować jeszcze cięższy pierwiastek niż oganesson, np.: o liczbie atomowej  $Z = 119$ , a może i jeszcze cięższy? Do jakiej grupy układu okresowego będzie on należał? To nie jest trywialne pytanie, ponieważ przy tak dużej liczbie protonów w jądrze efekty relatywistyczne wpływające na zgniatanie orbit elektronowych są tak duże i tak silne, że do końca nie wiemy, jak orbity będą w takim atomie względem siebie poukładane. Nie można tego rozszyfrować w prosty sposób, jak to się robi w przypadku lżejszych pierwiastków.

Najcięższe pierwiastki o liczbach atomowych 114, 115, 116, 117 i 118 zostały zsyntetyzowane w Dubnej w Rosji w procesie tzw. gorącej syntezy. Nieco lżejsze, jak darmstadt (110), roentgen (111), kopernik (112)

zsyntetyzowano w Instytucie Badań Ciężkich Jonów w Darmstadt (GSI) w Niemczech, w innym scenariuszu reakcji, w tzw. zimnej syntezie.

Synteza gorąca, w schemacie której wytworzono te najcięższe pierwiastki, to bardzo wyrafinowana metoda przeprowadzania reakcji jądrowej. Prowadząc eksperyment przez wiele tygodni/miesięcy, używa się w nim tarcz niesłychanie radioaktywnych. Jak łatwo sobie wyobrazić, już samo przygotowanie takiej tarczy to proces bardzo skomplikowany od strony chemicznej, a laboratorium musi mieć pozwolenie do pracy z materiałami silnie radioaktywnymi. W taką szybko wirującą tarczę z bardzo dużą energią uderza inny ciężki jon – pocisk. Okazuje się, że w przypadku reakcji gorącej syntezy najlepiej do wytworzenia nowego superciężkiego jądra nadaje się jon wapnia 48. Nie do końca rozumiemy,

### Doświadczalnie?

Nie, absolutnie! Nasza specjalność to teoria. Od strony teorii pierwszą trudnością jest to, że superciężkie jądra to układy wyjątkowo niestabilne. Żyją tak krótko, że ich czas życia trudno przewidzieć, dodatkowo prawdopodobieństwo ich wytworzenia jest ekstremalnie małe. Dlatego my od pewnego już czasu poszukujemy wśród tych krótkożytych pierwiastków stanów metastabilnych, które zwykło się nazywać stanami izomerycznymi. Są to takie nisko-wzbudzone konfiguracje jądrowe, które z pewnych powodów wydają się dużo bardziej stabilne niż odpowiadające im stany podstawowe. Jeżeli układ jądrowy posiada taki metastabilny stan, to zwykle taki stan ma pewne ekstremalne własności – albo rozpada się w nietypowy sposób, albo w ogóle nietypowo długo żyje. I o to tu chodzi!

Ostatnio znaleźliśmy wielu kandydatów na takie układy – jak mówimy, K-izomeryczne. Wygląda na to, że te izomery, jeżeli by się je udało wytworzyć w reakcji, mogłyby żyć dziesiątki tysięcy razy dłużej niż bardzo krótkożytye odpowiadające im stany podstawowe. Badania chemiczne pierwiastków w takich stanach stają się wtedy dużo łatwiejsze. Inaczej mówiąc: zamiast badać własności chemiczne nieuchwytnych jąder w stanach podstawowych można by badać te własności w stanach izomerycznych. Nie jest też wykluczone, że niektóre z takich stanów wzbudzonych już wcześniej zostały wytworzone w laboratoriach, ale nigdy nie zostały odkryte czy zarejestrowane! Ponieważ detektory są zwykle nastawione na pomiar jąder, które żyją milisekundy i nikt prawdopodobnie nie czekał z detekcją tak długo, tj. kilku sekund czy minut.

Mechanizm tej stabilności wyjaśniliśmy w naszym najnowszym artykule. Warunkiem podstawowym jest to, że taki stan izomeryczny powinien być z jednej strony niskoenergetyczny, ale z drugiej wysokospinowy. Chodzi nam tu o układ z bardzo wysokim momentem pędu. Taki stan izomeryczny ma odmienną strukturę w stosunku do stanu podstawowego i dlatego trudno mu się do niego rozpaść – tak duża zmiana struktury jest po prostu bardzo niekorzystna w rozpadzie jądrowym. To jest niby to samo jądro, o tej samej liczbie atomowej, o tej samej liczbie nukleonów, ale ponieważ te nukleony są niejako inaczej poukładane, to konieczność zmiany tej struktury istotnie opóźnia rozpad. W przypadku bardzo wysokospinowych izomerów rozpad alfa jest dodatkowo blokowany przez tzw. barierę centryfugálną, która jest związana ze zmianą momentu pędu. Ponieważ z tych dwóch wymienionych powodów ten rozpad wydaje się dość silnie zablokowany, to jądro w pewnym sensie „nie ma wyjścia”, czeka dłuższą chwilę, pozostając w tym stanie i następnie rozpada się do stanu o podobnej strukturze, także wzbudzonym w stosunku do stanu podstawowego. Tym razem jednak rozpad alfa zachodzi

dlatego tak jest, ale ten wapń wydaje się wyjątkowy i trochę „magiczny”. W każdym razie z żadnym innym pociskiem taka „gorąca” synteza nie przyniosła do tej pory pozytywnego wyniku. Obecnie w Riken w Japoni podjęto próbę wytworzenia pierwiastka  $Z = 119$  w reakcji z Vanadem jako pociskiem – zobaczymy...

W przypadku gorącej syntezy powstające ciężkie jądro jest układem niesłychanie silnie wzbudzonym. Emituje najpierw dwa, trzy albo cztery szybkie neutrony, z których każdy unosi siedem albo osiem megaelektronowoltów energii – w ten sposób układ się „schładza”. Każdy neutron konkuruje na każdym etapie emisji z procesem rozszczepienia, który to proces jest procesem degradującym jądro. Dlatego kluczowa jest, jak byśmy powiedzieli: „odporność” układu powstającego w wyniku reakcji na ten proces rozszczepienia jądra. Głównym parametrem jest tu tzw. bariera rozszczepieniowa. I my tu, w Warszawie, zajmujemy się właśnie wyznaczaniem wspomnianych barier rozszczepieniowych i innych podstawowych własności tych najcięższych układów jądrowych.



PROF. DR. HAB. MICHAŁ KOWAL

dzi bez zmiany bariery centryfugalnej, co z jednej strony radykalnie ułatwia ten rozpad, ale z drugiej cena, jaką trzeba zapłacić w tym przypadku, jest związana z tym, że bardzo często stan o podobnej strukturze w jądrze potomnym leży wysoko w energii. Ten efekt z kolei wpływa na zmniejszenie dostępnej energii rozpadu i tym samym także odpowiada za spowolnienie tego procesu. W ten sposób z różnych powodów mamy zablokowane właściwie wszystkie możliwe kanały w rozpadzie alfa i układ jądrowy w tym wyjątkowym stanie izomerycznym jest ze względu na to bardziej stabilny. Ponieważ tego typu reakcje prowadzone są przy bardzo dużych energiach, to wydaje się, że wytworzenie takiego stanu nie powinno być trudne.

### Jak pan doszedł do tego, że istnieje ten mechanizm?

W Warszawie mamy bogatą tradycję badań pierwiastków superciężkich. Niedawno zmarł nestor naszej grupy, prof. Adam Sobczewski. W szczególności prace, o których teraz opowiadam, powstały w ścisłej współpracy z moim kolegą Januszem Skalskim z Narodowego Centrum Badań Jądrowych i Piotrem Jachimowiczem z Uniwersytetu Zielonogórskiego. Ostatnio zajęliśmy się K-izomerami, ponieważ wydaje się, że tu istnieje spora szansa znalezienia stanów, które ze względu na nietypową swoją strukturę mogą być długo żyjące. To samo w sobie jest już wystarczająco ekscytujące i stanowi motywację do podjęcia tych badań. Ale pierwszą pracą o stanach z wysokim spinem, które mogłyby być superstabilne, napisaliśmy trzy lata temu. Dotyczyła ona jąder nieparzystych. Jądra nieparzyste, szczególnie takie z nieparzystą liczbą protonów, jak i neutronów, bada się bardzo trudno zarówno od strony teorii, jak i doświadczenia. Kandydatów na długo żyjące stany (w tym przypadku mogą to być i często są stany podstawowe) znaleźliśmy, badając właśnie jądra nieparzyste. Natomiast ten mechanizm wzbronienia, który opisywałem wcześniej, w jądrach nieparzystych jest nieco inny. Wśród jąder nieparzystych znaleźliśmy bowiem nietypowe stany podstawowe, które są wysokospinowe; dlatego już rozpad stanu podstawowego sam z siebie jest blokowany, bo ma inną strukturę niż struktura jądra „córeczki”, do którego by się ewentualnie rozpadł. Wśród jąder nieparzystych są takie izotopy. np. Meitnerium 272 (z liczbą protonów równą 109, a liczbą neutronów równą 163), który do tej pory nie został w ogóle wytworzony. Ale gdyby go zsyntetyzować, to według naszych rachunków żyłby miliony razy dłużej niż większość znanych dziś superciężkich pierwiastków.

### A jak to wszystko potwierdzić?

My zajmujemy się teorią, czyli próbujemy robić przewidywania i szacunki. Zawsze zastrzegamy, w ramach jakiego modelu dany rachunek został przeprowadzony

i na jakich założeniach przewidywania są oparte. To są rachunki bardzo czasochłonne, zaawansowane numerycznie i wymagające dużej mocy obliczeniowych. Na szczęście dysponujemy obecnie superkomputerem – klastrem obliczeniowym dużej mocy w NCBJ (Centrum Informatyczne Świerk – CIŚ). Należy jednak podkreślić, że fizyka jest nauką eksperymentalną. To eksperymetatorzy z Dubnej, z GSI czy z innych laboratoriów są „odkrywcami”. My robimy przewidywania teoretyczne, modelujemy własności tych później, ewentualnie sztucznie wytwarzanych pierwiastków. Ten proces jest nietrywialny, skomplikowany i dlatego trzeba zawsze z dużą dozą ostrożności podchodzić do rachunków. Wynik naszej pracy to jest pewna propozycja, którą można sprawdzać i testować. Ale prawdziwy wynik da w końcu tylko doświadczenie.



### Czy jeździ pan tam, gdzie odbywają się eksperymenty?

Owszem, staram się blisko współpracować z ośrodkiem w Ganil w Normandii. Niedługo znacznie tam działać bardzo wyrafinowany separator  $S^3$  i tematyka związana ze stanami z wysokim spinem będzie jedną z wiodących. Dzięki dobrej separacji i detekcji można będzie myśleć o bardzo dokładnych badaniach struktury jąder ciężkich. Drugim laboratorium, gdzie bada się stany K-izomeryczne, jest Argon w USA. K-izomery bada się też w Jyväskylä w Finlandii. Poza tym oczywiście w Dubnej w Rosji. W Polsce coraz częściej mówi się też o tym, żeby w Warszawie unowocześnić stary cyklotron – ten, który mamy w tej chwili w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów. Będzie można wtedy jeszcze wydajniej prowadzić badania strukturalne jąder ciężkich, a może i w przyszłości superciężkich.

Z PROF. DR. HAB. MICHAŁEM KOWALEM  
 ROZMAWIAŁA ANNA ZAWADZKA  
 ZDJĘCIE JAKUB OSTAŁOWSKI